



# MECANISMOS ASOCIADOS A LA INESTABILIDAD DE LADERAS: FACTORES QUE CONDICIONAN Y DESENCADENAN LOS DESLIZAMIENTOS

Dra. Katrin Sieron  
Centro de Ciencias de la Tierra  
Universidad Veracruzana

1er Foro "Inestabilidad de laderas en el Estado de Veracruz: necesidades de investigación y búsqueda de soluciones"

# INTRODUCCIÓN

- ⊙ La superficie de nuestro planeta constantemente está cambiando por diferentes procesos (geodinámica), incluyendo los de remoción en masa (o deslizamientos)
- ⊙ Los deslizamientos (landslides) representan una de las fuerzas más poderosas del planeta
- ⊙ Muchas veces pueden resultar en desastres/destrucción masiva
- ⊙ En varias ocasiones los deslizamientos siguen a otros fenómenos naturales, como son los sismos, incendios, erupciones volcánicas, inundaciones y huracanes

# INTRODUCCIÓN

- ⊙ Existen muchos tipos de deslizamientos (o PRM) que incluyen desde caídas de rocas hasta flujos de lodo
- ⊙ A que se debe su ocurrencia? Las dos razones más obvias incluyen las pendientes altas y lugares donde han ocurrido antes; pero también nosotros alteramos el paisaje (remoción de vegetación, laderas modificadas para construcción entre otras)
- ⊙ Cada vez nuestras poblaciones/asentamientos se expanden más y más y por ello cada vez estos fenómenos ocurren con más frecuencia y son más destructivos

# TERMINOLOGÍA

- ⊙ “Proceso de Remoción en Masa” (PRM) o deslizamiento (“Landslide”): movimiento descendente de un volumen de material constituido por roca, suelo o por ambos. (Cruden, 1991).
- ⊙ Un fenómeno de remoción en masa se clasifica y describe mediante dos términos:
  1. tipo de movimiento, 2. material.Los PRM son entonces flujos de detritos, deslizamiento de barro, caídas o desprendimiento de roca, etc. (Cruden y Varnes, 1996)

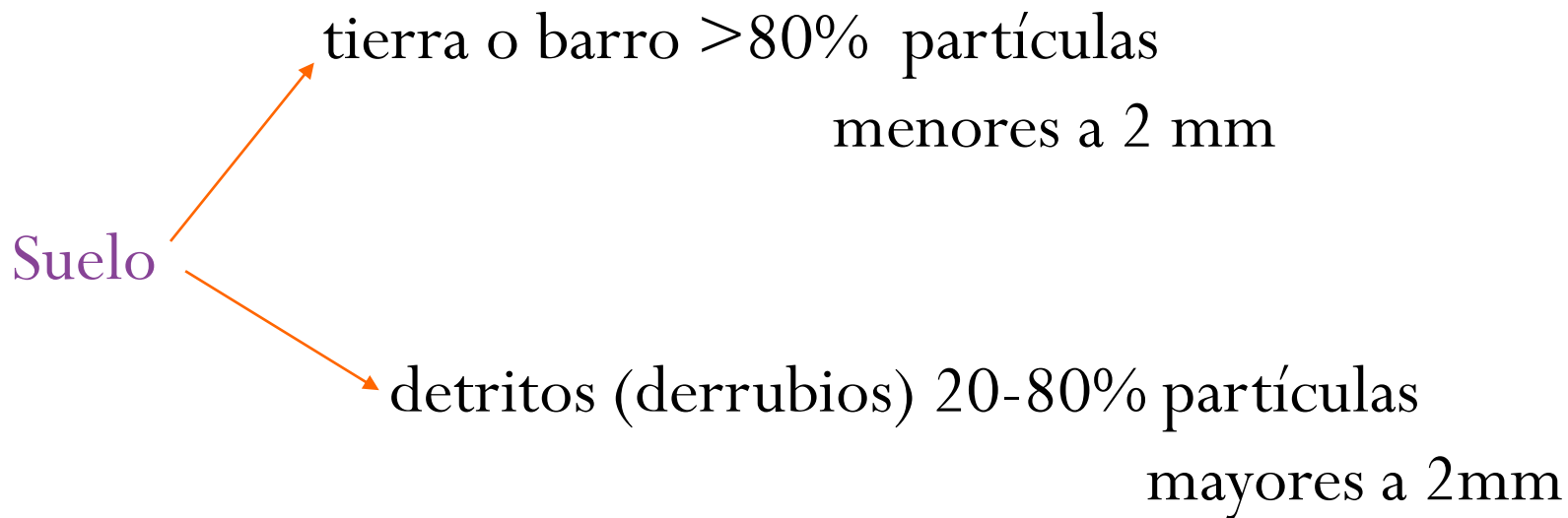
# CLASIFICACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (PRM)

- basado en el tipo de movimiento y en la naturaleza de material involucrado
- Se pueden involucrar el material de suelo, roca, detrito (derrubios) o combinaciones de todos

Tipo de movimiento		Tipo de material		
		Roca	Derrubios	Suelo
			Grano grueso	Grano fino
Caídas/Desprendimientos (Falls)		Caída o desprendimiento de roca	Caída o desprendimiento de derrubios	Caída o desprendimiento de suelos
Desplomes/Vuelcos (Topples)		Vuelco/Desplome de roca	Vuelco/desplome de derrubios	Vuelco/desplome de suelo
Deslizamientos (Slides)	rotacionales	Deslizamiento de roca	Deslizamientos de derrubios	Deslizamiento de suelo
	traslacionales			
Desplazamientos laterales (Lateral spreads)		Desplazamientos laterales en rocas	Desplazamientos laterales en derrubios	Desplazamientos laterales en suelos
Flujos (Flows)		Flujo de roca	Flujo de detrito	Flujo de tierra
Combinados (Complex)		Combinación de dos o más tipos de movimientos		

# TIPO DE MATERIAL

**Roca:** masa firme que estaba intacta, in situ antes de comenzar el movimiento



Ejemplos: -desprendimiento de roca (rock fall)

-flujo de detrito (debris flow)

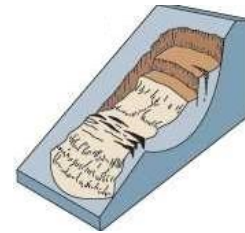
# TIPOS DE MOVIMIENTO

Los movimientos se dividen en 5 tipos:

Desprendimientos (“falls”)



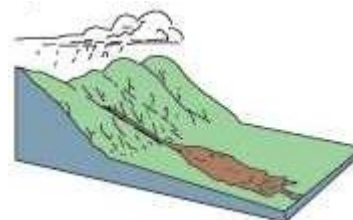
Deslizamientos (“slides”)



Volcamientos (“topples”)



Flujos (“flows”)



Desplazamientos (“spreads”)



# VELOCIDADES

- La velocidad de un PRM depende del tipo de material y del ángulo de la pendiente
- Rocas sueltas se mueven lo más rápido y sin anticipación, mientras que flujos de suelo pueden ser tan lentos que apenas se perciben (objetos inclinados)

Velocity Class	Description	Velocity (mm/sec)	Typical Velocity	Probable Destructive Significance
7	Extremely Rapid	$5 \times 10^3$	5 m/sec	Catastrophe of major violence; buildings destroyed by impact of displaced material; many deaths; escape unlikely
6	Very Rapid	$5 \times 10^1$	3 m/min	Some lives lost; velocity too great to permit all persons to escape
5	Rapid	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/hr	Escape evacuation possible; structures; possessions, and equipment destroyed
4	Moderate	$5 \times 10^{-3}$	13 m/month	Some temporary and insensitive structures can be temporarily maintained
3	Slow	$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/year	Remedial construction can be undertaken during movement; insensitive structures can be maintained with frequent maintenance work if total movement is not large during a particular acceleration phase
2	Very Slow	$5 \times 10^{-7}$	15 mm/year	Some permanent structures undamaged by movement
	Extremely SLOW			Imperceptible without instruments; construction POSSIBLE WITH PRECAUTIONS



# DESPRENDIMIENTOS (FALLS)

- Material se desprende de laderas empinadas o acantilados
- Movimiento constituido por caída libre, rodando o botando
- Movimiento es muy rápido ( $>50 \text{ mm/s}$ ) a extremadamente rápido ( $>5000 \text{ mm/s}$ )
- Accumulación del material en la base del alcantilado



# DESPRENDIMIENTOS (FALLS)

China, 2014



<http://www.youtube.com/watch?v=WaNhRulALqU>

# DESPRENDIMIENTOS (FALLS)

Noruega, 2009



<http://www.youtube.com/watch?v=aajUXQmec-Q>

# VOLCAMIENTOS (TOPPLES/TOPPLING)

- Bloques de roca o suelo que se inclinan o rotan hacia fuera de la ladera, separándose del macizo
- Derivan en desprendimientos o deslizamientos según la geometría de la ladera
- Pueden variar de extremadamente lentos ( $<16$  mm/año) a extremadamente rápido, a veces acelerando durante el movimiento



# VOLCAMIENTOS

Francia, 2013



<http://www.youtube.com/watch?v=gySe27Ht-NY>

# VOLCAMIENTOS

India, 2013

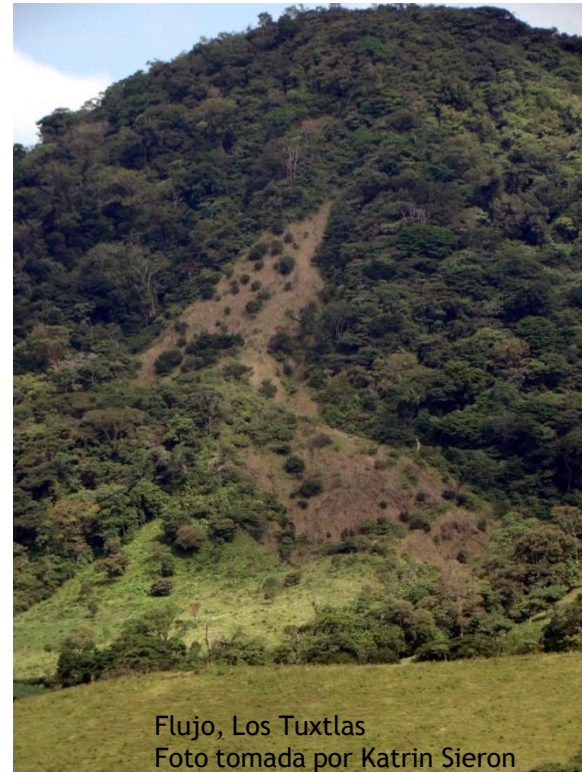


<http://www.youtube.com/watch?v=ZC-NV9X0ExE>

# FLUJOS (FLOWS)

- Movimientos rápidos de material que se comporta como una masa viscosa
- Pueden ser flujos de detritos ('debris flows'), flujos de barro ('earth flows' o 'mudflows'), y
- avalanchas de roca y detritos (movimientos extremadamente rápidos donde se forma un colchón de aire que ayuda al rápido desplazamiento)
- Agua, nieve o hielo suelen contribuir a la formación de un flujo
- En volcanes, los flujos son llamados lahares.

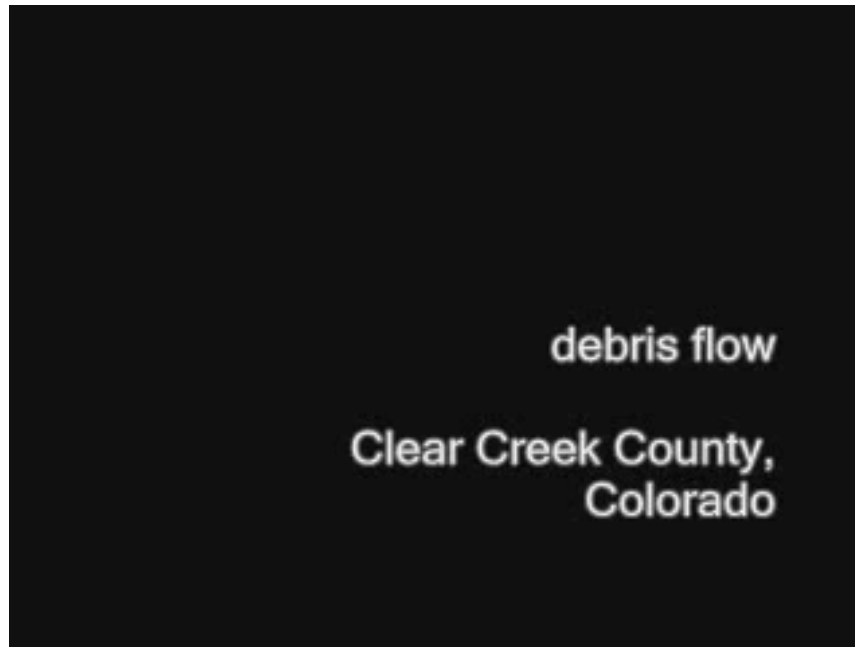
Depósito de  
Lahar, Los  
Tuxtlas  
Foto tomada  
por Katrin  
Sieron



Flujo, Los Tuxtlas  
Foto tomada por Katrin Sieron

# FLUJOS

EUA, 2003



<http://www.youtube.com/watch?v=8mKC3eID074>



# FLUJOS

Canada, 2012



<http://www.youtube.com/watch?v=6lIQHyT2LzM>

# DESLIZAMIENTOS (SLIDES)

- Movimientos causados por fallamiento de cizalle a lo largo de una o varias superficies de ruptura
- Hay dos tipos principales, deslizamientos rotacionales y deslizamientos traslacionales
- Un subtipo son deslizamientos en bloque, en que la masa deslizada (usualmente roca o suelo cementado) consiste en una sola unidad que se desplaza.
- Traslacionales: Masa desliza sobre una superficie aproximadamente plana, sin o con poca componente de rotación; son más superficiales que deslizamientos rotacionales y generalmente controlados por discontinuidades o zonas más débiles



Deslizamiento traslacional, Los Tuxtlas  
Foto tomada por Katrin Sieron



# DESLIZAMIENTOS (SLIDES)

- ⦿ **Rotacionales:** Masa se desliza sobre una superficie de fractura aproximadamente circular (a veces llamados “slumps”)
- ⦿ Generalmente ocurre en materiales homogéneos
- ⦿ Suelen presentar un escarpe en la cabecera que puede ser subvertical
- ⦿ Puede ser rotacional simple, múltiple o sucesivo
- ⦿ Cuando son profundos se les suele llamar ‘deep-seated slides’.



Chiconquiaco, Foto cortesía de Arq. Murrieta

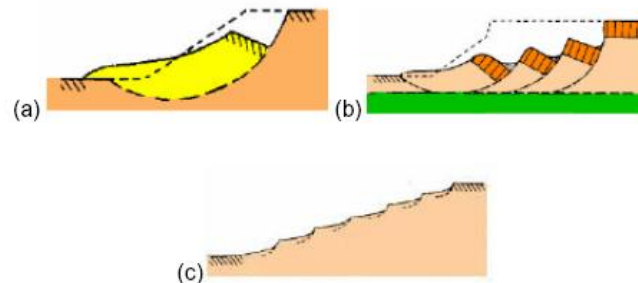
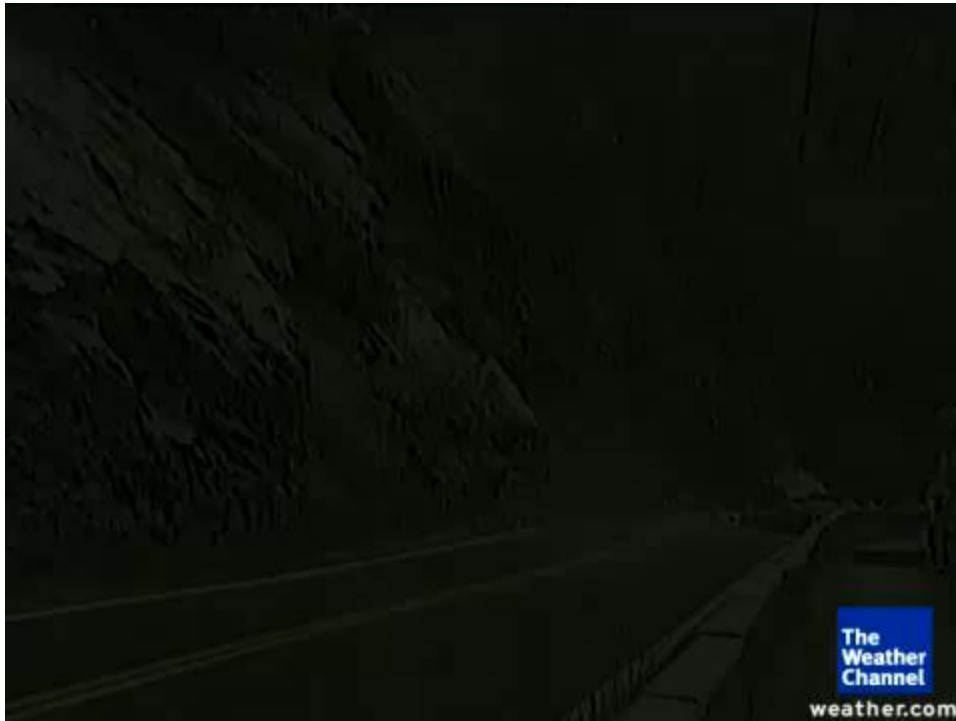


Figura A1.1 (a) Movimiento simple, (b) Movimiento múltiple, (c) Movimiento sucesivo. (Hutchinson. 1968).

# DESLIZAMIENTOS (SLIDES)

EUA, 2009



<http://www.youtube.com/watch?v=w40JgaKNihY>

# DESLIZAMIENTOS (SLIDES)

2007



<http://www.youtube.com/watch?v=F31ywRvtNkY>

# DESLIZAMIENTOS (SLIDES)

Japón, 2007



<http://www.youtube.com/watch?v=AiczROnfGbc>

# DESPLAZAMIENTOS LATERALES (SPREADS)

- Extensión lateral de una masa de suelo o roca combinada con una subsidencia general de la masa de material fracturado
- En suelos, las extensiones laterales están generalmente relacionados con procesos de licuefacción



<http://www.mapfre.com/mapfrere/docs/html/revistas/trebol/n62/en/articulo2.html>

# REPTACIÓN (CREEP)

- Reptación (creep) es un corrimiento de suelo provocado por la gravedad y una inestabilidad de ladera (talud); puede convertirse en flujos de suelo
- Es lento y continuo
- Afecta a la capa más superficial
- Es el resultado de dos movimientos: Expansión por hidratación y retracción por deshidratación.
- Produce arqueamiento de los árboles, inclinación de vallas y postes y convexidad en la parte inferior de las vertientes por acumulación de materiales

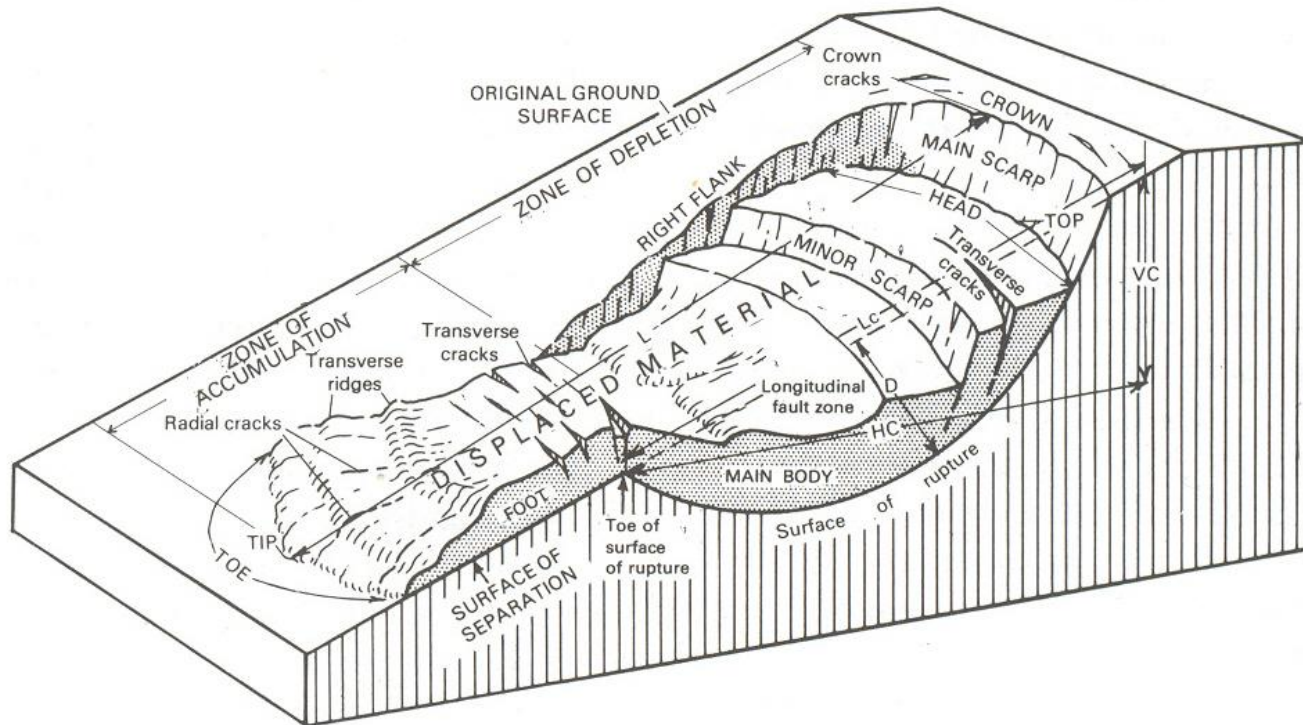




# FENÓMENOS COMPLEJOS

- Cuando se trata de fenómenos complejos, en los cuales hay involucrado más de un mecanismo, se utilizan nombres compuestos
- Por ejemplo, una caída que continúa como flujo se denotará desprendimiento de bloque-flujo de detritos

# ELEMENTOS DE UN DESLIZAMIENTO



<https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch15.htm>

Fuente: Adaptado de Varnes, D. "Slope Movement and Processes" en Landslides

# ACTIVIDAD

- ⊙ **Activo:** Con movimiento en el presente.
- ⊙ **Reactivado:** Con movimiento tras lapso de inactividad. Usualmente en superficies de cizalle pre-existentes con resistencia residual o dentro de la masa deslizada anteriormente.
- ⊙ **Suspendido:** Con movimiento en el último ciclo de estaciones, pero sin movimiento actual.
- ⊙ **Inactivo:** Sin actividad por más de un ciclo de estaciones.
- ⊙ **Durmiente:** Inactivo pero con causas de actividad todavía aparentes.

# FACTORES QUE INFLUYEN

- ⦿ Rara vez actúa solo un factor – más bien combinación de factores condicionantes (son los que inciden en el proceso) y desencadenantes (que activan el proceso)
- ⦿ Dependiendo de cada situación un mismo factor puede actuar como condicionante po desencadenante

# FACTORES QUE INFLUYEN

## ◉ Geológicos (Litológicos)



- ◉ Presencia de materiales alterados por meteorización
- ◉ Falta de cohesión de los materiales que componen la roca
- ◉ Alternancia de estratos de diferente naturaleza

Factores condicionantes

# FACTORES QUE INFLUYEN

- Litológicos
- Geológicos  
(Estructurales)



- Disposición paralela de los planos de estratificación de las rocas respecto de la pendiente
- Fallas o Fracturas
- plegamientos

Factores condicionantes

# FACTORES QUE INFLUYEN

- ◉ Litológicos
- ◉ Estructurales
- ◉ Climáticos
- ◉ Hidrológicos
- ◉ Topográficos
- ◉ Vegetación
- ◉ Responsable directo de la erosión
- ◉ Aporta agua al subsuelo
- ◉ Alternancia de épocas de sequía-lluvia
- ◉ Alternancia de épocas de hielo y deshielo

Factores condicionantes

# FACTORES QUE INFLUYEN

- ◉ Litológicos
- ◉ Estructurales
- ◉ Climáticos
- ◉ Hidrológicos
- ◉ Topográficos
- ◉ Vegetación
- ◉ Aumento de la escorrentía superficial
- ◉ Estancamiento del agua
- ◉ Cambios del nivel freático de las aguas subterráneas
- ◉ Alternancia de estratos de diferente permeabilidad

Factores condicionantes



# FACTORES QUE INFLUYEN

- Litológicos
- Estructurales
- Climáticos
- Hidrológicos
- Topográficos (como parte de los geomorfológicos)
- Vegetación



Factores condicionantes

# FACTORES QUE INFLUYEN

- Litológicos
- Estructurales
- Climáticos
- Hidrológicos
- Topográficos
- Vegetación
- Ausencia o escasez de vegetación que sujete el terreno



Factores condicionantes

# FACTORES QUE INFLUYEN

Factor desencadenante=estímulo externo que causa la rotura casi inmediata, aumentando las tensiones o reduciendo la resistencia del material de la ladera

## Factores desencadenantes naturales

- ⊙ Fuertes precipitaciones
  - ⊙ Inundaciones
  - ⊙ Socavamiento (oleaje) y erosión fluvial
  - ⊙ Erupciones Volcánicas
  - ⊙ Terremotos
  - ⊙ Cambios de volumen
    - hielo-deshielo
    - humedad-desecación
- pero deslizamientos también pueden ocurrir de forma espontánea

## Factores desencadenantes Inducidos (antrópicos)

- ⊙ Aumento de peso de talud (pendiente) por acumulación de escombros o construcciones
- ⊙ Excavaciones con retirada de materiales del pie del talud
- ⊙ Creación taludes artificiales
- ⊙ Inundaciones causadas por roturas de presas
- ⊙ Estancamiento de aguas por impermeabilización y asfaltado, y encharcamiento por excesos de riegos
- ⊙ Deforestación de taludes
- ⊙ Explosiones realizadas en la construcción de carreteras, minas

# FACTORES DESENCADENANTES - EJEMPLOS



# FACTOR DESENCADENANTE

## “LLUVIA”

- Mayor porcentaje de remoción en masa relacionado a las lluvias
- Infiltración del agua, aumento de presiones de los poros, reduciendo resistencia
- Infiltración controlada por pendiente, cobertura vegetal y permeabilidad de los materiales
- Estabilidad condicionada por la resistencia del terreno y por la geometría



<http://es.wikipedia.org/wiki/Lluvia>

# DESLIZAMIENTOS “ESPONTÁNEOS”

- ⊙ Acciones humanas condicionan en gran medida inestabilidad de ladera (deslizamientos aparentemente espontáneos)
- ⊙ Pérdidas en la red de abastecimiento de aguas, cambios en la cobertura vegetal, cambios en el manejo del terreno como minas o desarrollo de pastizales)



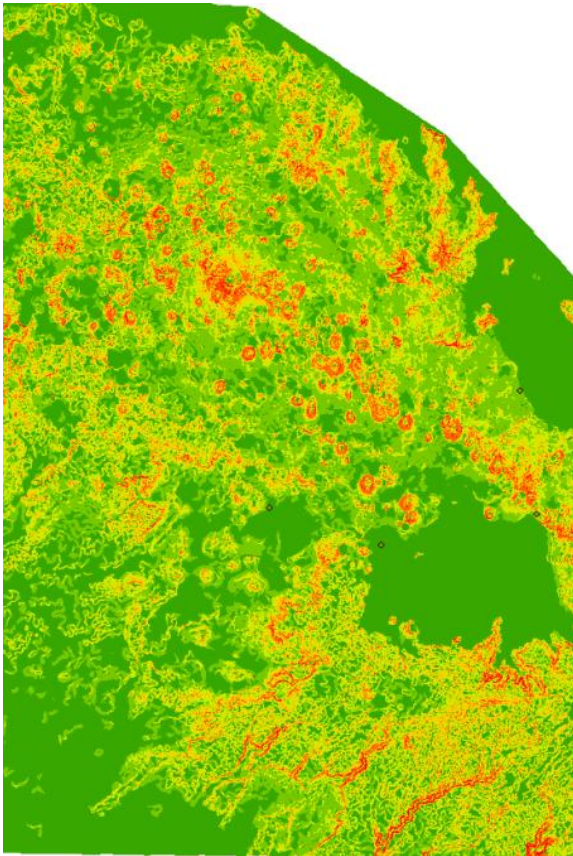
Texcaltitán, Los Tuxtlas

# OBSERVACIONES

- Se ha observado que:
- Lluvias de gran intensidad y corta duración provocan: deslizamientos superficiales, flujos de derrubios y desprendimientos
- Episodios de lluvia de baja intensidad a moderada por días o semanas: deslizamientos rotacionales, traslacionales y flujos de barro
- Episodios estacionales e interanuales anormalmente húmedos producen reactivaciones en grandes deslizamientos
- Desprendimientos: relación con precipitación débil (se producen por múltiples factores, como lluvia, penetraciones de raíces, inducido por meteorización)

Fuente: Caso España (Moya y Corominas, 1997; Corominas et al., 2002)

# FACTORES CONDICIONANTES Y DESENCADENANTES Y LA SUSCEPTIBILIDAD



Los Tuxtlas, susceptibilidad deslizamientos

- Análisis de susceptibilidad (y amenaza y riesgo posteriormente) a deslizamientos requiere manejo simultáneo de gran cantidad de información de factores interrelacionados (SIG's = herramienta útil)
- Zonificación (división de la superficie en áreas homogéneas)
- Se requiere conocimiento detallado de los procesos activos en el área + los factores que influyen
- Existen varias metodologías (Mora-Vahrson, Estadístico Univariado y Multivariado, Evaluación Espacial Multicriterio, etc.)



# GRACIAS

## Referencias

- ◉ Cruden, 1991
- ◉ Cruden y Varnes, 1996
- ◉ Varnes, 1978
- ◉ [http://www.ukgeohazards.info/pages/eng\\_geol/landslide\\_geohazard/eng\\_geol\\_landslides\\_classification.htm](http://www.ukgeohazards.info/pages/eng_geol/landslide_geohazard/eng_geol_landslides_classification.htm)
- ◉ [http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS\\_DE\\_LADERAS.pdf](http://www.iesae.com/documentos/biologiaTemarioCTMA/1304.MOVIMIENTOS_DE_LADERAS.pdf)
- ◉ Moya y Corominas, 1997;
- ◉ Corominas et al., 2002
- ◉ Hutchinson, 1968
- ◉ <https://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea65s/ch15.htm>
- ◉ Entre otros